

Qualiplus: Ferramenta para Simulação e Otimização da Confiabilidade em Redes de Distribuição de Energia

Roger Aguera
Daimon Engenharia e Sistemas Ltda
São Paulo, Brasil
roger.aguera@daimon.com.br

Guilherme Saggioratto
Daimon Engenharia e Sistemas Ltda
São Paulo, Brasil
guilherme.saggioratto@daimon.com.br

Guilherme Castanheira
Daimon Engenharia e Sistemas Ltda
São Paulo, Brasil
guilherme.castanheira@daimon.com.br

Resumo – A qualidade do fornecimento de energia elétrica é um dos principais focos do Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST – Módulo 8), da ANEEL, que estabelece diretrizes e indicadores para medir e garantir a confiabilidade do sistema de distribuição no Brasil. Indicadores coletivos como a Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e a Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC) são fundamentais para avaliar o desempenho das concessionárias e garantir a continuidade e qualidade do serviço prestado. Com objetivo de apoiar as distribuidoras no cumprimento das exigências regulatórias e na otimização de seus investimentos, foi desenvolvida a ferramenta computacional Qualiplus, que permite simular diferentes cenários de investimento e identificar as intervenções mais rentáveis, maximizando o retorno sobre o investimento e garantindo a sustentabilidade dos negócios. Dessa forma, as distribuidoras podem atender às exigências do PRODIST de forma eficiente e eficaz.

Palavras-chave — qualidade de energia, confiabilidade, DEC, FEC, planejamento de rede de distribuição.

I. INTRODUÇÃO

A confiabilidade do sistema de distribuição de energia elétrica é um fator essencial para garantir a continuidade do fornecimento e a satisfação dos consumidores. No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece padrões regulatórios para medir a duração e frequência das interrupções, destacando-se os indicadores coletivos DEC e FEC. Esses indicadores são cruciais para a avaliação do desempenho das concessionárias, influenciando decisões sobre investimentos em manutenção e expansão da rede.[1]

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^{NUC} t(i)}{NUC} \quad (1)$$

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^{NUC} n(i)}{NUC} \quad (2)$$

Sendo:

i = índice de unidades consumidoras atendidas em BT ou MT;

n = número de interrupções da unidade consumidora (i) ou por ponto de conexão considerado, no período de apuração;

t(i) = tempo de duração da interrupção (i) da unidade consumidora considerada ou do ponto de conexão, no período de apuração;

NUC = número total de unidades consumidoras faturadas do conjunto no período de apuração, atendidas em BT ou MT;

DEC = Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC), em horas;

FEC = Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora.

Para adoção de melhores estratégias de manutenções na rede elétrica de distribuição a quantificação das falhas, assim como informações mais detalhadas sobre as falhas, como causa e local de ocorrência permitem um melhor aproveitamento dos recursos para redução eficiente dos indicadores. [2]

O foco do presente trabalho concentra-se nos indicadores de qualidade de serviço de duração e frequência de interrupções coletivas, que representam valores médios de intervalo de tempo (DEC) e número de interrupções (FEC) que cada consumidor em um determinado período de medição e em um universo avaliado sofreram. [3]

As interrupções emergenciais no fornecimento de energia podem ser causadas por fatores diversos, como quedas de árvores, contato com animais e condições climáticas adversas. Para minimizar esses eventos, as distribuidoras necessitam de ferramentas que auxiliem na tomada de decisão, priorizando investimentos que tragam maior impacto na melhoria da qualidade do serviço.

Com esse objetivo, foi desenvolvida a ferramenta Qualiplus, que permite a simulação de cenários de intervenção na rede elétrica, identificando as estratégias mais eficientes e economicamente viáveis para reduzir falhas e otimizar os indicadores de confiabilidade.

Visando atender às demandas das empresas do setor elétrico por soluções mais eficientes e economicamente viáveis, desenvolvemos uma ferramenta de simulação que permite avaliar o custo-benefício de diversas intervenções em redes de distribuição. Ao atribuir um custo a cada obra

e realizar simulações automatizadas, é possível gerar relatórios detalhados que quantificam a redução dos indicadores de qualidade e o retorno sobre o investimento. Essa abordagem permite às empresas otimizar seus recursos, priorizando as intervenções que proporcionam o maior impacto na melhoria da qualidade do serviço, considerando a complexidade e a extensão das redes de distribuição. As intervenções simuladas incluem um amplo espectro de ações, tais como poda de árvores, substituição de equipamentos por tecnologias mais avançadas, reconfiguração da rede, inserção de novas chaves de proteção ou seccionamento e obras de recondutoramento de redes.

Este trabalho apresenta resultados de simulações de intervenções na rede elétrica de distribuição, apresentando a variação nos indicadores coletivos DEC e FEC por conjunto, assim como o custo estimado de cada intervenção.

II. METODOLOGIA

O Qualiplus baseia-se na análise detalhada das interrupções ocorridas, associando-as aos equipamentos da rede e determinando a taxa de falha e o tempo médio de reparo [4]. O sistema permite ajustar automaticamente esses valores conforme as intervenções simuladas, garantindo um modelo dinâmico e realista.

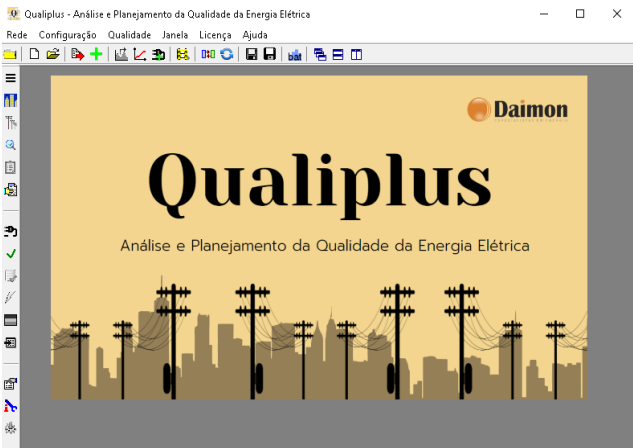


Figura 1 - Tela inicial do Qualiplus

Através dessa metodologia, é possível determinar a taxa de falha e o tempo médio de reparo para cada equipamento que atuou, como chaves fusíveis, religadores, disjuntor e transformadores. Ao agregar os resultados obtidos para cada bloco da rede, é possível calcular indicadores de confiabilidade globais para o sistema, tais como a frequência e a duração média de interrupções por consumidor. Essa abordagem permite identificar os locais mais críticos e direcionar ações de manutenção e investimento para melhorar a qualidade do fornecimento de energia elétrica em determinadas regiões. [5 e 6]

Para o correto funcionamento da aplicação, é imprescindível a utilização do cadastro das interrupções ocorridas no período de estudo. A partir desses dados, são determinadas a taxa de falha por quilômetro e a duração média de cada bloco de carga. Esses parâmetros são essenciais na metodologia, pois serão ajustados sempre que houver alguma obra na rede, já que cada tipo de intervenção impacta esses valores de forma distinta.

Além disso, a topologia da rede desempenha um papel crucial nas análises. Como a configuração atual pode não ser a mesma do período em que as interrupções foram registradas, o primeiro cálculo dos indicadores pode apresentar divergências em relação aos dados aferidos pela distribuidora. Para corrigir essa discrepância, é possível ajustar as taxas de falha e os tempos médios de atendimento de cada bloco, permitindo a convergência entre os valores simulados e os registrados pela distribuidora. Com esse ajuste, a ferramenta estará pronta para executar as simulações de confiabilidade da rede.

A simulação de novas obras na rede tem como objetivo estimar os impactos nos índices de confiabilidade, assim como prover uma métrica de custo-benefício de cada obra simulada. Por exemplo, uma obra simulada de poda de árvores eliminará falhas causadas pela vegetação em uma determinada área; uma obra de instalação de uma chave religadora, removerá falhas transitórias causadas por vento, árvores ou objetos na rede; já a instalação de uma nova chave de proteção do tipo fusível reduzirá o tamanho de um bloco de proteção, diminuindo o número de consumidores afetados por falhas a jusante da nova chave.

Com base em dados reais de uma distribuidora brasileira, o presente trabalho apresenta resultados de simulação de cálculo de confiabilidade para análise de uma subestação com 16 alimentadores, que representa um conjunto elétrico conforme definido pela ANEEL. A extensão total de rede de média tensão (MT) equivale a 350 km, com um total de 88.642 unidades consumidoras. Os dados de interrupções utilizados na simulação foram registrados ao longo do ano de 2024, totalizando 3.952 falhas na rede.

A Tabela 1 apresenta os dados de interrupções, incluindo o tipo de causa e a quantidade total de registros para as causas relevantes a este artigo.

Tabela 1 - Distribuição de falhas por causa

Causa	Quantidade	Quantidade (%)
Árvore	485	12,27
Vento	308	7,79
Objeto na rede	169	4,28
Outros	2990	75,66
Total	3952	100

O Qualiplus oferece diversas ferramentas que auxiliam o usuário nas análises, facilitando a identificação dos locais que necessitam de intervenção. Um desses recursos é o mapa de calor, que exibe o número de falhas ocorridas na rede, conforme ilustrado na Figura 2.



Figura 2 - Mapa de Calor por Indicador

Esse mapa de calor destaca uma série de indicadores, tais como DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora), FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora), CHI (Consumidor-Hora Interrompido), CI (Consumidores Interrompidos), TMA (Tempo Médio de Atendimento) e o número de falhas. Os resultados são exibidos por bloco e categorizados em três cores: vermelho, amarelo e verde, indicando, respectivamente, criticidade alta, média e baixa.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados que serão apresentados contemplam as análises e impactos de três tipos específicos de obras de melhoria na rede de distribuição, sendo:

- **Poda de árvores** – visando a redução de interrupções causadas pelo contato de galhos com a rede elétrica, especialmente em áreas arborizadas.
- **Substituição de chaves por modelos de qualidade superior** – buscando aumentar a confiabilidade e eficiência operacional da rede.
- **Recondutoramento de rede nua para rede protegida** – uma intervenção que visa minimizar os impactos de condições ambientais adversas e aumentar a resiliência da rede contra falhas.

A análise considera os efeitos dessas intervenções na redução de falhas e na melhoria dos indicadores de continuidade do fornecimento de energia elétrica, proporcionando um panorama abrangente sobre os benefícios das ações realizadas.

A. Poda de árvore

O objetivo principal da simulação de poda é identificar os trechos da rede elétrica onde essa ação terá o maior impacto nos indicadores de confiabilidade do sistema. Busca-se, assim, maximizar a redução nos índices de interrupção com o menor custo possível, otimizando os recursos destinados a essa intervenção.

Na rede analisada, das 3.952 falhas registradas ao longo do período de estudo, 485 foram causadas por interferência de árvores, representando 12,27% do total de ocorrências, conforme observado na Tabela 1. Esse dado ressalta a relevância da poda como uma medida eficaz para mitigar

falhas desse tipo e melhorar a qualidade do fornecimento de energia.

Para as simulações, foi considerado um custo estimado de R\$ 50.000,00 por quilômetro de rede podado. O valor pode ser configurado conforme necessário para novas simulações.

Os resultados obtidos estão organizados por circuito alimentador e podem ser consultados na Tabela 2, que apresenta os impactos previstos nos índices de DEC e FEC do conjunto em relação a poda em cada alimentador, assim como o custo (R\$) previsto para as obras de poda de árvores.

Tabela 2 - Resultados da simulação de poda de árvore

CIRCUITO	PODA (km)	ΔDEC (%)	ΔFEC (%)	CUSTO (R\$)
R1301	0,17	1,40	0,52	8.269,80
R1303	0,22	0,24	0,10	10.535,85
R1304	0,19	0,02	0,13	9.865,05
R1305	0,08	0,07	0,04	3.606,95
R1306	0,38	0,68	0,29	18.783,95
R1307	0,74	15,66	4,96	36.796,60
R1308	0,45	0,54	0,29	21.628,00
R1309	0,32	0,28	0,48	16.369,95
R1310	0,03	0,04	0,01	1.622,45
R1311	0,05	0,01	0,01	2.832,60
R1313	1,07	1,32	0,56	54.671,95
R1314	0,06	0,03	0,05	3.290,70
TOTAL	3,76	20,29	7,44	188.273,85

A análise dos dados apresentados na Tabela 2 revela que uma maior extensão de poda nem sempre resulta em uma redução mais expressiva nos indicadores de confiabilidade. Isso ocorre porque o impacto de cada trecho podado depende de dois fatores principais: a quantidade de consumidores localizados a jusante da falha e a duração média que os consumidores ficam sem energia por causa da falha na região.

Com base nesses resultados, torna-se possível estabelecer uma ordem de prioridade para a execução das podas em cada alimentador, priorizando aqueles que oferecem a maior redução nos indicadores pelo menor custo. Assim, pode ser definida a seguinte sequência de alimentadores para a realização das podas: R1307, R1301 e R1313.

A execução das podas nesses três alimentadores teria um custo total estimado de R\$ 99.738,35, abrangendo 1,98 km de rede e proporcionando uma redução significativa nos indicadores de confiabilidade do conjunto.

É importante destacar que o alimentador R1307 trará o maior ganho, representando 77% de redução no DEC do

conjunto. Isso ocorre porque esse alimentador possui o maior peso no DEC, o que está diretamente relacionado à quantidade de consumidores interrompidos (CI) e ao tempo médio de atendimento (TMA) de cada ocorrência.

Ao analisar o indicador Consumidor-Hora Interrompido (CHI) dos alimentadores, que resulta da multiplicação do CI pelo TMA para cada equipamento interrompido, observamos que os alimentadores R1307, R1301 e R1313 contribuem com 57,54%, 14,68% e 10,54%, para o DEC do conjunto, respectivamente. Por esse motivo, alterações no alimentador R1307 trarão ganhos significativamente maiores do que nos outros alimentadores.

Além disso, deve-se considerar a quantidade e a localização das falhas causadas por árvores nesses alimentadores. Um maior número de falhas desse tipo e sua ocorrência em locais mais a montante do alimentador fazem com que a poda das árvores gere impactos ainda mais expressivos na confiabilidade do sistema.

Dessa forma, com base no orçamento disponível e na criticidade dos indicadores, a distribuidora poderá definir com maior facilidade quais alimentadores devem ser contemplados na intervenção, alinhando os recursos financeiros ao impacto esperado. Conclui-se, portanto, que a ferramenta utilizada demonstrou objetividade ao identificar o alimentador mais crítico em função das falhas causadas pela vegetação.

B. Substituição de chave

Na análise de substituição de chaves, será avaliado os resultados da substituição de dois tipos, sendo: chave faca para chave fusível e de chave fusível para chave religadora. Entre as duas, as chaves religadoras apresentam um impacto significativamente maior nos indicadores de confiabilidade, pois serão capazes de eliminar falhas causadas por fatores como árvores, vento e objetos em contato com a rede. Contudo, esse benefício vem acompanhado de um custo de instalação substancialmente mais elevado em comparação às chaves fusíveis.

Para fins de simulação, adotaram-se os seguintes custos: a instalação de uma chave fusível foi estimada em R\$ 5.000,00, enquanto o custo para instalar uma chave religadora foi definido em R\$ 110.000,00. Essa diferença de valores reflete a necessidade de um planejamento estratégico para equilibrar investimentos e benefícios ao selecionar as chaves a serem substituídas.

A simulação resultou em um total de 112 substituições de chaves que gerariam algum impacto positivo nos indicadores de confiabilidade. Contudo, muitas dessas alterações apresentaram ganhos relativamente pequenos, tornando-se menos relevantes do ponto de vista prático e econômico.

Dessa forma, optou-se por destacar apenas as substituições que proporcionaram uma redução no DEC de pelo menos 0,2% no conjunto. As alterações que atendem a esse critério estão listadas na Tabela 3 a seguir, permitindo uma análise mais focada nas intervenções com maior impacto e viabilidade.

Tabela 3 - Resultados de substituição de chave

CIRC.	OBRA	Δ DEC (%)	Δ FEC (%)	CUSTO (R\$)
R1313	FA to FU	0,63	0,26	5.000,00
R1313	FA to FU	0,62	0,25	5.000,00
R1303	FU to RL	0,55	0,19	110.000,00
R1307	FA to FU	0,49	0,35	5.000,00
R1314	FA to FU	0,47	0,73	5.000,00
R1301	FA to FU	0,44	0,16	5.000,00
R1313	FU to RL	0,38	0,08	110.000,00
R1313	FU to RL	0,36	0,19	110.000,00
R1301	FA to FU	0,32	0,11	5.000,00
R1307	FU to RL	0,32	0,45	110.000,00
R1312	FU to RL	0,3	0,2	110.000,00
R1309	FU to RL	0,23	0,13	110.000,00
R1310	FU to RL	0,23	0,03	110.000,00
R1301	FA to FU	0,22	0,07	5.000,00
R1306	FU to RL	0,22	0,06	110.000,00
R1310	FU to RL	0,22	0,2	110.000,00
R1301	FU to RL	0,2	0,2	110.000,00
TOTAL	-	6,2	3,66	1.135.000,00

Dentre as 112 alterações simuladas, foram destacadas 17 alterações na Tabela 3 pois elas produziram uma redução de pelo menos 0,2% no DEC do conjunto. Dessas, destacam-se as substituições de chave faca por chave fusível que apresentaram uma redução significativa nos indicadores a um custo relativamente baixo. As demais alterações consistem na substituição de chaves fusíveis por chaves religadoras, que, apesar do custo mais elevado, podem trazer ganhos significativos na confiabilidade da rede.

O investimento total necessário para implementar essas alterações na rede foi estimado em R\$ 1.135.000,00.

Essa simulação ressalta a eficiência de realizar uma análise abrangente em toda a rede, permitindo identificar de forma rápida e precisa quais substituições de chaves proporcionariam os maiores benefícios nos indicadores de confiabilidade. Além disso, o detalhamento dos custos associados a cada obra facilita a tomada de decisão, ajudando a definir quantas intervenções podem ser realizadas dentro do orçamento disponível para este tipo de investimento.

C. Recondutoramento

O recondutoramento proposto para melhorar os indicadores de confiabilidade consiste na substituição de redes nuas por redes com cabos protegidos. Essa melhoria é projetada para eliminar falhas causadas por objetos na rede e pelo contato com árvores, reduzindo significativamente

interrupções relacionadas a esses fatores. Para fins de análise, foi considerado um custo estimado de R\$ 100.000,00 por quilômetro de rede, representando um valor médio em relação a diversos tipos de cabos possíveis.

A simulação de recondutoramento é realizada em blocos de rede inteiros, em vez de trechos isolados, para garantir consistência e eficiência na aplicação da melhoria. A simulação foi conduzida em todos os blocos da rede, avaliando tanto os ganhos esperados nos indicadores DEC e FEC, quanto os custos associados a cada intervenção.

Os resultados indicaram que o recondutoramento em 104 blocos de rede proporcionaria algum impacto positivo nos indicadores. No entanto, a maioria desses blocos apresentou ganhos modestos, insuficientes para justificar o custo elevado da obra. Assim, foi considerado apenas os casos que resultaram em uma redução de DEC superior a 0,2%, seguindo o mesmo critério adotado na análise de substituição de chaves.

Os resultados consolidados dessa análise, com os blocos prioritários para intervenção e seus respectivos impactos, são apresentados na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 - Resultados de recondutoramento

CIRCUITO	COMP. BLOCO (km)	Δ DEC (%)	Δ FEC (%)	CUSTO (R\$)
R1307	0,65	12,64	2,53	65.128,70
R1307	3,31	9,06	7,24	330.663,80
R1307	1,31	3,66	2,87	131.043,50
R1301	2,67	1,32	0,44	266.998,10
R1307	0,23	0,63	0,50	22.602,30
R1308	4,40	0,38	0,21	439.612,80
R1313	0,87	0,36	0,19	86.613,00
R1313	2,90	0,33	0,07	290.102,40
R1313	1,77	0,33	0,04	177.013,20
R1314	0,74	0,32	0,47	74.040,90
R1307	1,22	0,31	0,71	122.073,10
R1303	0,56	0,28	0,10	55.502,40
R1307	2,44	0,26	0,36	244.021,80
R1310	0,72	0,23	0,03	71.966,10
R1306	0,36	0,22	0,06	36.138,40
R1314	2,04	0,22	0,18	203.730,90
R1301	0,40	0,20	0,07	39.783,60
R1306	1,58	0,20	0,22	158.358,70
R1306	0,93	0,20	0,06	93.146,30
TOTAL	29,10	31,15	16,35	2.908.540,00

É importante destacar que os resultados apresentados na Tabela 4 são organizados por bloco de rede, ou seja, cada linha representa um bloco específico de um determinado alimentador. Um recondutoramento realizado em um bloco não afeta os trechos de outro bloco.

Um bloco de rede é composto por um conjunto de trechos delimitados por duas ou mais chaves. A presença de múltiplas linhas associadas a um mesmo alimentador indica que vários blocos desse alimentador foram reconduzidos. No entanto, cada bloco possui um impacto e um custo distintos, dependendo de suas características específicas.

Como o recondutoramento é realizado em todos os trechos de um bloco e possui um custo elevado, esse tipo de intervenção exige um investimento mais expressivo. Contudo, a ferramenta utilizada na simulação demonstrou-se promissora, pois permite identificar de maneira eficiente os blocos que proporcionam os maiores ganhos nos indicadores de confiabilidade, bem como os custos envolvidos em cada caso. Destaca-se o primeiro bloco da Tabela 4, que, ao reconduzir apenas 650 metros, resulta em uma redução de 12,64% no DEC do conjunto, com um custo relativamente baixo de R\$ 65.128,70.

Na Tabela 4, são apresentados os 19 blocos prioritários, que resultaram nos maiores ganhos nos indicadores DEC e FEC, com um custo total estimado em R\$ 2.908.540,00.

Embora o recondutoramento tenha um custo mais elevado em comparação às outras intervenções analisadas (substituição de chaves e poda de árvores), ele continua sendo uma opção altamente relevante. É uma alternativa valiosa para redes onde se busca maior confiabilidade, especialmente em áreas urbanas, onde os benefícios tendem a ser mais expressivos.

Portanto, o recondutoramento pode ser considerado como uma segunda etapa de ações, sendo priorizadas inicialmente as intervenções de menor custo, como poda e substituição de chaves. Caso o objetivo seja ampliar ainda mais a confiabilidade da rede, o recondutoramento surge como uma solução estratégica, capaz de oferecer ganhos significativos, especialmente em redes de maior densidade de carga.

IV. CONCLUSÃO

O Qualiplus é uma ferramenta estratégica desenvolvida para auxiliar distribuidoras de energia na avaliação de índices de confiabilidade ao longo de períodos específicos e na simulação de novos cenários com base em intervenções planejadas na rede. Por meio de suas funcionalidades de simulação automática, a ferramenta gera relatórios detalhados que correlacionam os ganhos nos indicadores de desempenho com os custos das obras, permitindo a priorização eficiente das intervenções de acordo com os recursos disponíveis e as metas regulatórias estabelecidas pela ANEEL.

Com as ferramentas apresentadas, é possível estabelecer critérios claros para a execução das obras, priorizando inicialmente intervenções de menor custo, como a poda de árvores, e, gradualmente, considerando ações de maior impacto e custo, como o recondutoramento. A praticidade de realizar simulações em toda a rede e identificar rapidamente os locais com maior potencial de melhoria nos

indicadores é um dos grandes diferenciais do Qualiplus, especialmente considerando a complexidade de gerenciar redes elétricas extensas de maneira manual ou sem o suporte de software especializado. O principal objetivo da ferramenta é eleger os locais e tipos de obra que trarão maiores benefícios e não prever exatamente o resultado futuro dos indicadores, dado que as simulações são realizadas considerando uma topologia e condições climáticas passadas e que podem não se repetir nos anos futuros. Além disso, a ferramenta auxilia na criação de lista de prioridades para obras e no gerenciamento eficiente das equipes responsáveis pela execução.

No futuro, o Qualiplus será ampliado com novas funcionalidades automatizadas, como a alocação estratégica de chaves em pontos críticos da rede. Isso incluirá a instalação de chaves normalmente fechadas, para reduzir o tamanho dos blocos protegidos, e de chaves normalmente abertas, para facilitar a transferência de carga durante interrupções. Essas melhorias têm como objetivo expandir as possibilidades de otimização da rede, reforçando o compromisso das distribuidoras com a qualidade e confiabilidade do fornecimento de energia, além de atender às crescentes demandas do setor.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Daimon Engenharia e Sistemas pelo apoio e assistência na conclusão deste trabalho.

REFERÊNCIAS

[1] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Module 8: Qualidade da Energia Elétrica. Disponível em: <

https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2020888_prodist_modulo_8_v11.pdf>

[2] Magalhães, E.F.A.: Modelagem e simulação de indicadores de continuidade: ferramenta auxiliar para a manutenção em redes de distribuição de energia elétrica. 2017. Dissertação para o Mestrado em Engenharia Industrial - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

[3] Dias, E.B.: Avaliação de indicadores de continuidade e seu impacto no planejamento de sistemas de distribuição. Dissertação para o Título de Mestre em Engenharia. Escola Politécnica from Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

[4] Pinto, C.L.S.: Otimização em dois níveis aplicada a priorização de obras do sistema de distribuição, voltada ao cumprimento dos índices de continuidade. Tese apresentação para o título de Doutor em Engenharia - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

[5] Centenaro, B. e Catapani, G.F.R: Avaliação de confiabilidade de rede de distribuição de uma concessionária brasileira via método analítico e monte carlo sequencial. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2017.

[6] Cyrillo, I.O.: Estabelecimento de Metas de Qualidade na Distribuição de Energia Elétrica por Otimização da Rede e do Nível Tarifário. Dissertação de mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.